



③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1

14.11.89 JP 1-295339 23.02.90 JP 2-043374  
09.08.90 JP 2-211405

⑦1 Anmelder:

Hitachi Metals, Ltd., Tokio/Tokyo, JP

⑦4 Vertreter:

Beetz sen., R., Dipl.-Ing.; Beetz jun., R., Dipl.-Ing.  
Dr.-Ing.; Timpe, W., Dr.-Ing.; Siegfried, J., Dipl.-Ing.;  
Schmitt-Fumian, W., Prof. Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.;  
Mayr, C., Dipl.-Phys.Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 8000  
München

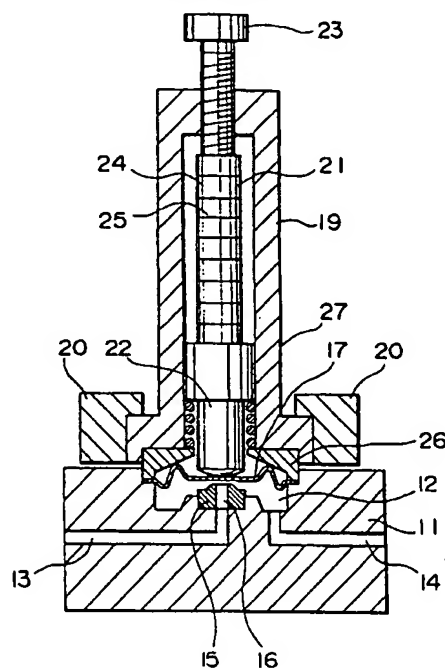
⑦2 Erfinder:

Watanabe, Yoshiyuki, Fukaya, JP; Watanabe,  
Junichi, Kumagaya, JP; Jomura, Shigeru,  
Tokio/Tokyo, JP; Someji, Takahiro, Fukaya, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Strömungsdurchsatz-Regulierventil mit Verwendung eines Hochtemperatur-Stapeltyp-Kolbens

Strömungsdurchsatz-Regelventil mit einer Ventilkammer (12) mit einem offenen Ende, einem Einlaßkanal (13) und einem Auslaßkanal (14), deren jeder ein Ende in Verbindung mit der Ventilkammer (12) und das andere Ende offen aufweist, einem Ventilsitz (15), der am Ende des Einlaßkanals (13) oder Auslaßkanals (14) in Verbindung mit der Ventilkammer (12) vorgesehen ist, einer blattartigen Membrane (17), die zum dichten Verschließen des offenen Endes der Ventilkammer (12) vorgesehen ist, und einem Stapeltyp-Kolben (21) aus einem elektromechanischen Wandlermaterial mit dem Maximalwert der piezoelektrischen Verzerrungskonstante bei einem höheren Temperaturbereich als 100°C oder darüber, der einen Druck auf die Membran (17) durch seine Deformation ausübt, um die Lage der Membran (17) zu verändern, wodurch der Spalt zwischen dem Ventilsitz (15) und der Membran (17) gesteuert wird.



## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft die Strömungsgeschwindigkeit regulierende Ventile, die häufig verwendet werden, um beispielsweise die Strömungsgeschwindigkeit eines Gases in der Halbleiterindustrie zu regeln, und insbesondere ein die Strömungsgeschwindigkeit bei hohen Temperaturen regulierendes Ventil und einen Mas-

sendurchsatzregler, der einen gepackt aufgebauten Kolben als eine Antriebsquelle verwendet und geeignet ist, bei höheren Temperaturen als der Normaltemperatur verwendet zu werden, und einen gepackt aufgebauten Kolben, der für die Verwendung bei hohen Temperaturen geeignet ist.

Ein bekanntes, den Strömungsdurchsatz regulierendes Ventil, das einen gepackt aufgebauten Kolben als eine Antriebsquelle verwendet, ist beispielsweise in der JP-OS 61-1 27 983 offenbart.

Fig. 9 zeigt einen Längsschnitt eines Hauptteils eines Beispiels des Ventils zur Regelung des Strömungsdurchsatzes oder des sog. normalen offenen Typs.

Fig. 9 zeigt einen Hauptkörper 11, der beispielsweise aus rostfreiem Stahl hergestellt und als Block geformt wurde. Der Hauptkörper 11 besitzt eine sich nach oben öffnende Ventilkammer 12, einen mit der Ventilkammer 12 verbundenen Zulauf 13 und einen Ablauf 14. Unter der Ventilkammer 12 ist ein Ventilsitz 15 vorgesehen, der eine mit dem Ablauf 14 verbundene Ventilablauföffnung 16 besitzt. 17 zeigt eine aus einem Metall hergestellte und als dünne Platte oder wie ein Blatt geformte Membran. Die Membran ist dafür vorgesehen, den oberen Teil der Ventilkammer 12 dicht zu schließen und mit ihrer unteren Oberfläche an den Ventilkörper 18 so befestigt zu sein, daß der Ventilkörper der Ventilablauföffnung 16 gegenüberliegt. Das Gehäuse 19 besteht aus dem gleichen Material wie der Hauptkörper 11 und ist als Hohlzylinder ausgebildet. Das Gehäuse 19 ist an der oberen Seite des Hauptkörpers 11 durch ein metallisches Feststegglied 20 so befestigt, um die Ventilkammer 12 dicht abzuschließen. Die Ventilstange 22 ist am unteren Ende des gepackt aufgebauten Kolbens 21 fixiert, der in das Gehäuse 19 so eingesetzt ist, daß die Ventilstange 22 mit der Membran 17 in Kontakt gebracht werden kann. Die Öffnungsstellschraube 23 ist so am das obere Ende des Gehäuses 19 befestigt, daß ihr unteres Ende durch Schrauben in Kontakt mit dem gepackt aufgebauten Kolben 21 gebracht werden kann.

Durch den oben angegebenen Aufbau wird eine vorher festgelegte Lücke zwischen dem Ventilsitz 15 und dem Ventilkörper 18 aufrechterhalten, und ein Fluid wie Gas kann somit vom Zulauf 13 durch die Ventilkammer 12 und die Ventilablauföffnung 16 zum Ablauf 14 geleitet werden. Wird eine Gleichspannung an den gepackt aufgebauten Kolben 21 angelegt, dehnt sich der gepackt aufgebaute Kolben 21 in der Richtung der gepackten Schichten aus. Damit wird die Ventilstange 22 abwärts gedrückt, um den Ventilkörper 18 abwärts zu bewegen, so daß die Lücke zwischen dem Ventilkörper 18 und dem Ventilsitz 15 bzw. die Öffnung der Ventilablauföffnung 16 vermindert wird. Wird die an den gepackt aufgebauten Kolben 21 angelegte Gleichspannung abgestellt, so schrumpft der gepackt aufgebaute Kolben 21 um den Betrag, der durch die angelegte Spannung verursachten Ausdehnung entspricht. Deshalb kehrt der Ventilkörper 18 durch die Rückstellkraft der Membran 17 in die ursprüngliche Lage zurück, und die Öffnung der Ventilablauföffnung 16 kehrt in den ursprünglichen Zustand zurück. Somit kann die Öffnung der Ventilablauföffnung 16 durch die auf den gepackt aufgebauten Kolben 21 angelegte Gleichspannung so angepaßt werden, um die Strömungsgeschwindigkeit eines Fluids wie Gas vom Ablauf 14 zu regeln.

Der zur Regelung des Strömungsdurchsatzes verwendete, gepackt aufgebaute Kolben wird nachfolgend beschrieben.

Ein kürzlich entwickelter, gepackt aufgebaute Kolben, wie er beispielsweise in der Japanischen Patent-Gazette Nr. 59-32 040 offenbart ist, wird, wie folgt, hergestellt.

Ein Bindemittel wird einem Rohstoffpulver zugegeben, gemischt und geknetet, um eine Paste aus einem piezoelektrischen keramischen Material herzustellen, und diese Paste wird zu einer dünnen Platte oder einem Blatt mit einer vorher festgelegten Dicke geformt. Danach wird ein leitfähiges Material wie Silber-Palladium auf einer oder beide Oberfläche(n) dieser Platte oder des Blatts aufgezogen, um die inneren Elektroden zu bilden. Mehrere Schichten dieser dünnen Platten werden hergestellt, gepackt und gepreßt, und die Platte gepackter Schichten wird in eine bestimmte Form gebracht. Dieser gepackte oder laminierte Körper wird zu einer laminierten Keramik gebrannt, und äußere Elektroden werden auf beiden Seiten des laminierten Körpers gebildet, um eine Struktur wie einen laminierten Chipkondensator zu vervollständigen. Der gepackt aufgebaute Kolben dieser Struktur besitzt eine hervorragende Haftfähigkeit zwischen der bzw. aus piezoelektrischem keramischen Material bestehenden Schicht bzw. Lamelle und der inneren Elektrode, und sie wird somit selbst über eine längere Zeitspanne kaum verschlechtert.

Fig. 10 zeigt ein Beispiel der Struktur des gepackt aufgebauten Kolbens, der alternierender Elektrodentyp genannt wird. 31 stellt die aus piezoelektrischem keramischen Material hergestellten Lamellen dar. Positive und negative innere Elektroden werden abwechselnd auf den Lamellen bzw. Schichten gebildet. Diese Lamellen bzw. Schichten werden so gepackt, um einen laminierten Körper 35 zu bilden. Die inneren Elektroden 32a und 32b werden so ausgebildet, daß sie auf einer Seite hervorstehen oder der Außenseite ausgesetzt sind und sie jeweils mit den äußeren Elektroden 33a und 33b verbunden sind, die an den Seiten des laminierten Körpers in der Packungsrichtung gebildet werden. Die äußeren Elektroden werden durch Lötstellen 37 mit Anschlußdrähten 36 verbunden.

Werden positive und negative Spannungen an die äußeren Elektroden 33a bzw. 33b angelegt, baut sich ein elektrisches Feld zwischen der inneren Elektroden 32a und 32b auf, so daß das Blatt oder die Lamelle 31 ausgedehnt oder durch die Längswirkung des piezoelektrischen keramischen Materials in der Packungsrichtung verschoben wird.

Fig. 11 zeigt ein anderes Beispiel des gepackt aufgebauten Kolbens, der Ganzberflächen-Elektroden-Typ genannt wird, der verbesserte piezoelektrische Verschiebungswirksamkeit besitzt (siehe beispielsweise JP-OS 58-1 96 068). In Fig. 11 sind Bauteile, die denen in Fig. 10 gleichen, mit denselben Bezugszahlen gekennzeichnet.

Die inneren Elektroden 32a und 32b werden auf der ganzen Oberfläche der Schichten bzw. Lamellen 31 gebildet, und eine erforderliche Anzahl Lamellenlagen bzw. Schichten werden wie oben gepackt bzw. laminiert. Danach wird ein aus isolierendem Material hergestellter Überzug 34 auf jede anderen Kanten (von beispielsweise nur inneren Elektroden 32b) der inneren Elektroden 32a, 32b auf einer Seite des wie oben gebildeten laminierten Körpers 35 bereitgestellt. Zusätzlich wird die aus einem leitfähigen Material hergestellte äußere Elektrode 33a über der gesamten Oberfläche der Seite einschließlich der Überzüge 34 aufgebracht. Andererseits wird der Überzug 34 ähnlich an jeder anderen Kante der verbleibenden inneren Elektroden (z. B. 32a) auf der anderen Seite des laminierten Körpers 35 bereitgestellt, und die äußere Elektrode 33b wird auf der gesamten Oberfläche der Seite, einschließlich der Überzüge 34, aufgebracht. Die Wirkung dieser Vorrichtung ist die gleiche wie die der Fig. 10.

In dem in Fig. 9 gezeigten, bekannten, den Strömungsdurchsatz regelnden Ventil ist der Ventilkörper 18 in der Ventilkammer 12, in die Gas strömt, und dieser Ventilkörper 18 wird in die oder aus der Ventilablauföffnung 16 gezogen, die im Ventilsitz 15 vorgesehen ist, wodurch der Strömungsdurchsatz geregelt wird. Wenn der Gasfluß abgestellt wird, wird der Ventilkörper 18 in Kontakt mit der Kante der Ventilablauföffnung 16 gebracht, und wenn der Strömungsdurchsatz geregelt wird, gleitet er gegen die Kante und die innere Oberfläche des Umfangs der Ventilablauföffnung 16. Die dabei entstehende Reibung verursacht ein durch Abrieb erzeugtes Metallpulver, das in das Gas gemischt wird. Im Vergleich zum normal geöffneten Typ ist im normal geschlossenen Typ eines den Strömungsdurchsatz regelnden Ventils die Frequenz des Kontakts und des Gleitens zwischen dem Ventilkörper 18 und der Ventilablauföffnung 16, obwohl nicht gezeigt, bemerkenswert groß, und deshalb wird durch Abrieb eine beträchtliche Menge Metallpulver erzeugt, die das obengenannte Problem verschlimmert.

Darüber hinaus ist der Betrag der Verschiebung des im bekannten, den Strömungsdurchsatz kontrollierenden Ventil verwendeten, gepackt aufgebauten Kolbens 21 mindestens etwa 30 bis 40  $\mu\text{m}$ , selbst wenn die Länge des laminierten Körpers 40 mm beträgt. Da der Strömungsdurchsatz des Gases in dem piezoelektrischen Ventil dieses Typs durch die Größe der Lücke zum Ventilsitz 15 und der Membran 17 bestimmt wird, kann nur ein sehr kleiner Betrag der Strömung durch den obigen Verschiebungsbetrag kontrolliert werden. Um ein großes, den Strömungsdurchsatz regelndes piezoelektrisches Ventil zu realisieren, ist es daher nötig, die Anzahl der Schichten der Lamellen 31 und inneren Elektroden 32a, 32b, die den gepackt aufgebauten Kolben 21 bilden, zu erhöhen. Dies führt unvermeidlich zu einem großen piezoelektrischen Ventil und vergrößert damit den zu beanspruchenden Platz. Deshalb wird das bekannte piezoelektrische Ventil nur zur Regelung eines sehr geringen Betrags des Strömungsdurchsatzes verwendet, bzw. ist es zur Regelung eines großen Betrags an Strömungsdurchsatz nicht geeignet. Für einen großen Betrag an Strömungsdurchsatz oder zur Regelung eines großen Bereichs des Strömungsdurchsatzes sind mehrere piezoelektrische Ventile nötig, die somit nicht nur einen großen Raum bzw. Bodenfläche beanspruchen, sondern auch die Aufrechterhaltung, Inspektion und Handhabung erschweren.

In den letzten Jahren wird auf dem Gebiet der Halbleiterherstellung immer reineres und heißeres Reaktionsgas verwendet, und die dafür verwendeten Instrumente und Apparate sollen deshalb höheren Temperaturen widerstehen können. Wenn das bekannte, den Strömungsdurchsatz regelnde Ventil in einem hohen Temperaturbereich von beispielsweise 100°C oder mehr verwendet wird, wird der Betrag der Verschiebung und statischen Kapazität des elektromechanischen Wandlermaterials, aus dem die Lamellen 31 bestehen, durch Temperatur so beträchtlich verändert, daß er nicht einwandfrei funktioniert. Mit anderen Worten nimmt, da die Curie-Temperatur (die Temperatur, bei der die piezoelektrische Eigenschaft verloren wird) für das gewöhnliche elektromechanische Wandlermaterial bei ca. 150°C liegt, die piezoelektrische Verzerrungskonstante  $d_{33}$  plötzlich ab, wenn die Temperatur der Vorrichtung 100°C übersteigt, und somit wird der Betrag der Verschiebung auf weit unter einem erforderlichen Wert stark vermindert. Besonders in den letzten Jahren hat sich die Verwendung von den Strömungsdurchsatz regelnden Ventilen bis zu dem Hochtemperaturbereich von ca. 200°C ausgedehnt, und deren Eigenschaften werden gravierender als zuvor. Somit ist die Entwicklung eines den Strömungsdurchsatz regelnden Ventils mit einer stabilen Kontrollfunktion bei jeder Umgebungstemperatur, bei der die Vorrichtung verwendet wird, sehr erwünscht.

Zusätzlich schmilzt die Lötstelle 37, die die äußeren Elektroden 33a, 33b und den Anschlußdraht 36 verbindet, bei der hohen Temperatur und trennt somit die Elektroden und den Anschlußdraht. Darüber hinaus schmilzt der aus einem Epoxiharz (aromatisches Epoxydiamin, Polyamin, Nylon oder aliphatische Amine) bestehende Film, mit dem die Vorrichtung bedeckt ist, um die Festigkeit gegenüber beispielsweise einer stark feuchten Atmosphäre zu erhöhen, oder er schält sich ab, so daß die Vorrichtung leicht beschädigt werden kann.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, ein den Strömungsdurchsatz regelndes Ventil bereitzustellen, das für den Gebrauch bei höheren Temperaturen geeignet ist, das die Probleme des Stands der Technik löst und die Fähigkeit hat, die Eigenschaften der Bewegung, der statischen Kapazität etc. bei einem vorher festgelegten Niveau und hohe Stabilität und Verlässlichkeit selbst bei hoher Temperatur sicherzustellen.

Eine andere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist die Bereitstellung einer Durchsatzregelungsvorrichtung, die das oben angeführte, bei hohen Temperaturen arbeitende, den Strömungsdurchsatz regelnde Ventil verwendet.

Noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist die Bereitstellung eines gepackt aufgebauten Kolbens für Hochtemperaturverwendung, der piezoelektrischen Verzerrungskonstante  $d_{33}$  bei einem genügend großen Wert aufrechterhalten kann und keine Trennung oder andere Störungen selbst unter hohen Temperaturen aufweist.

Die Aufgabe wird anspruchsgemäß gelöst.

Um die obengenannten Aufgaben zu erfüllen, wird nach einer ersten Erfindung ein den Strömungsdurchsatz regelndes Ventil mit einer Ventilkammer mit einem offenen Ende, einem Zulauf und einem Ablauf, die jeweils ein mit der Ventilkammer in Verbindung stehendes Ende und ein anderes, geöffnetes Ende besitzen, einem Ventilsitz, der am Ende des Zulaufs oder Ablaufs mit der Ventilkammer in Verbindung steht, einer aus einem

metallischen Material bestehenden blattartigen Membran, die dazu vorgesehen ist, das offene Ende der Ventilkammer zu schließen, einem am offenen Ende der Ventilkammer des Körpers vorgesehenen Gehäuse und einem hierin vorgesehenen, gepackt aufgebauten Kolben, wobei dieser gepackt aufgebaute Kolben aus einem elektromechanischen Wandlermaterial hergestellt ist, das den maximalen Wert der piezoelektrischen Verzerrungskonstante  $d_{33}$  in einem höheren als dem normalen Temperaturbereich aufweist, vorgesehen, und die Membran wird so gebildet, um sie für einen Kontakt mit dem Ventilsitz und eine freie Lösung davon geeignet zu machen.

Nach einer zweiten Erfindung wird ein den Strömungsdurchsatz regelndes Ventil nach der ersten Erfindung vorgesehen, wobei Heizmittel bereitgestellt werden, um den gepackt aufgebauten Kolben bis zu einer Temperatur zu erhitzen, bei der das elektromechanische Wandlermaterial etwa den maximalen Wert der piezoelektrischen Verzerrungskonstante  $d_{33}$  aufweist.

Nach einer dritten Erfindung wird ein Durchflußregler mit einem Strömungsdurchsatzdetektor am Zulauf oder Ablauf des den Strömungsdurchsatz regelnden Ventils und Regeleinrichtungen zur Regelung des den Strömungsdurchsatz regelnden Ventils im Einklang mit der Ausgabe des Strömungsdurchsatzdetektors vorgesehen, wobei das den Strömungsdurchsatz regelnde Ventil das bei hoher Temperatur den Strömungsdurchsatz regelnde Ventil der ersten oder zweiten Erfindung ist.

Nach einer vierten Erfindung wird ein gepackt aufgebaute Kolben vorgesehen, der einen laminierten Körper umfaßt, der eine Mehrzahl von Lamellen, die jeweils aus einem elektromechanischen Wandlermaterial hergestellt sind, und eine Mehrzahl von inneren Elektroden enthält, deren jede aus einem leitenden Material hergestellt ist, wobei die Lamellen und die inneren Elektroden abwechselnd gestapelt sind und ein Paar von äußeren Elektroden an den Seiten des laminierten Körpers gebildet sind, um mit allen anderen der inneren Elektroden verbunden zu werden, und wobei das elektromechanische Wandlermaterial den Maximalwert der piezoelektrischen Konstante  $d_{33}$  in einem höheren Temperaturbereich von 100°C oder darüber aufweist.

Nach einer fünften Erfindung wird ein gepackt aufgebaute Kolben der vierten Erfindung vorgesehen, wobei die Oberfläche des laminierten Körpers mit einem Film bedeckt ist, der aus einem wärmebeständigen isolierenden Harzmaterial hergestellt ist.

Nach einer sechsten Erfindung wird ein gepackt aufgebaute Kolben der vierten oder der fünften Erfindung vorgesehen, wobei Anschlußdrähte mit den äußeren Elektroden mit Lot bei einer Flüssigphasentemperatur von 200°C oder darüber verbunden werden.

Nach einer siebenten Erfindung wird ein gepackt aufgebaute Kolben mit einem laminierten Körper vorgesehen, der eine Mehrzahl von Lamellen, deren jede aus einem elektromechanischen Wandlermaterial hergestellt ist, und eine Mehrzahl von inneren Elektroden aufweist, deren jede aus einem leitenden Material hergestellt ist, wobei die Lamellen und die inneren Elektroden abwechselnd gestapelt sind und ein Paar von äußeren Elektroden an den Seiten des laminierten Körpers so gebildet sind, um mit jeweils anderen der inneren Elektroden verbunden zu werden, und wobei das elektromechanische Wandlermaterial 61 – 66 Gew.-% PbO, 2 – 5 Gew.-%  $\text{SrCO}_3$ , 10,5 – 12 Gew.-%  $\text{TiO}_2$ , 20 – 22 Gew.-%  $\text{ZrO}_2$  und 0,1 – 2,0 Gew.-%  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  enthält und den Maximalwert der piezoelektrischen Verzerrungskonstante  $d_{33}$  in einem höheren Temperaturbereich als 100°C aufweist.

Da das Hochtemperaturverwendungs-Strömungsdurchsatzregelventil und die dieses Ventil verwendende Durchsatzregelungsvorrichtung die oben erwähnte Konstruktion und Wirkung haben, wird die piezoelektrische Verzerrungskonstante  $d_{33}$  des Materials, aus dem der gepackt aufgebaute Kolben hergestellt ist, so gehalten, daß sie einen ausreichend hohen Wert auch dann hat, wenn dB ein organometallisches Gas, dessen Siedepunkt 50 – 150°C ist, als Fluid verwendet wird, und daher ist der Membranenhub groß, so daß ein ausreichender Strömungsdurchsatz erreicht wird. Außerdem werden der Ventilsitz und die Membran durch das Fluid nicht verstopft und kontaminiert, wodurch die Verlässlichkeit erheblich erhöht wird. Wenn nur der gepackt aufgebaute Kolben so erhitzt wird, daß er bei einer Temperatur betrieben wird, bei der die piezoelektrische Verzerrungskonstante  $d_{33}$  das Maximum erreicht, kann ein größerer Membranenhub als bei der normalen Temperatur oder einer niedrigen Temperatur erzielt werden. Daher kann die Erfindung für die Flüssigkeit bei einer niedrigen Temperatur oder bei der Normaltemperatur verwendet werden, wodurch ihr Verwendungsbereich ausgedehnt wird.

Außerdem kann, da der Hochtemperaturverwendungs-Kompaktaufbaukolben gemäß der Erfindung die oben erläuterte Konstruktion und Wirkung hat, die piezoelektrische Verzerrungskonstante  $d_{33}$  auf einem ausreichend hohen Wert auch in einer Hochtemperaturatmosphäre von 100 – 250°C gehalten werden, und so kann ein vorbestimmter Verschiebungsweg stabil ohne Loslösung und andere Störungen auch unter solcher Atmosphäre erreicht werden. Zusätzlich kann die Verlässlichkeit des gepackt aufgebauten Kolbens stark erhöht und seine Verwendbarkeit erweitert werden.

Die Erfindung wird anhand der in der Zeichnung veranschaulichten Ausführungsbeispiele näher erläutert; darin zeigen:

Fig. 1 einen Längsschnitt eines Hauptteils eines Ausführungsbeispiels der Erfindung;

Fig. 2A – 2D Perspektivdarstellungen eines Beispiels des den gepackt aufgebauten Kolben beim Ausführungsbeispiel der Erfindung bildenden laminierten Körpers;

Fig. 3 die Beziehung zwischen der Temperatur und der hervorgerufenen Verschiebung;

Fig. 4 die Beziehung zwischen der Temperatur und dem maximalen Strömungsdurchsatz;

Fig. 5 die Beziehung zwischen der Temperatur und dem Dampfdruck eines organometallischen Gases;

Fig. 6 die Anordnung eines Hauptteils eines anderen Ausführungsbeispiels gemäß der Erfindung;

Fig. 7 die Beziehung zwischen der Einstellspannung und dem regulierten Strömungsdurchsatz;

Fig. 8 ein Erläuterungsdiagramm, das zur Erklärung eines Hauptteils einer chemischen Dampfabscheidung unter vermindertem Druck bei noch einem anderen Ausführungsbeispiel der Erfindung brauchbar ist;

Fig. 9 einen Längsschnitt eines Hauptteils eines bekannten Strömungsdurchsatz-Regelventils;

Fig. 10 und 11 jeweils den Aufbau bekannter gepackt aufgebauter Kolben.

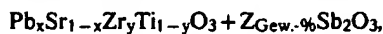
Fig. 1 ist ein Längsschnitt eines Hauptteils eines Strömungsdurchsatz-Regulierungsventils gemäß der Erfindung. In Fig. 1 sind gleiche, denen in Fig. 9 entsprechende Bauelemente mit den gleichen Bezugsziffern bezeichnet. In Fig. 1 sind Membraneinstellbauteile 26 gezeigt, die zwischen dem Gehäuse 19 und dem Hauptkörper 11 vorgesehen sind, um die Membran 17 festzulegen. Weiter ist eine Kompressionswendelfeder 27 gezeigt, die zwischen der Ventilstange 22 und den Membranfestlegungsbauteilen 26 eingefügt sind, um die Ventilstange 22 nach oben zu drücken.

Da ein vorbestimmter Abstand zwischen dem Ventilsitz 15 und der Membran 17 bei diesem Aufbau beibehalten wird, strömt Gas vom Einlaß 13 durch den Ventilauslaß 16 und die Ventilkammer 12 zum Auslaß 14. Wenn eine Gleichspannung an den gepackt aufgebauten Kolben 21 angelegt wird, um ihn in der laminierten Richtung zu expandieren, drückt er den mittleren Teil der Membran 17 über die Ventilstange 22 gegen die Rückstoßkraft der Kompressionswendelfeder 27, wodurch der Abstand zwischen der Membran 17 und dem Ventilsitz 15 oder die Öffnung des Ventilauslasses 16 verkleinert wird, um den Strömungsdurchsatz des Gases zu verringern. Wenn die Spannung am gepackt aufgebauten Kolben 21 unterbrochen wird, kehrt die Ventilstange 22 durch die Rückstellkraft der Kompressionswendelfeder 27 in ihre Ausgangsstellung zurück, und auch die Membran 17 kehrt in ihre ursprüngliche Lage zurück. So kann der Gasströmungsdurchsatz wie bei dem in Fig. 9 gezeigten bekannten Beispiel reguliert werden.

Bei der in Fig. 1 gezeigten Anordnung ist, da die Membran 17 nur in Kontakt mit dem Ventilsitz 15 gebracht und davon gelöst wird, keine Gleitwirkung dazwischen vorhanden, so daß kein Metallpulver infolge von Abrieb auftritt. Außerdem wird, da die Kompressionswendelfeder 27 an der Außenseite des Gasdurchstroms angeordnet ist, kein Metallpulver erzeugt, so daß kein Metallpulver mit dem Gas vermischt wird.

Mit dem in Fig. 1 gezeigten Aufbau kann der Aufbau verwendet werden, der in der vom Anmelder schon eingereichten japanischen Anmeldung 1-94 492 beschrieben ist.

Die Fig. 2A - 2D sind Perspektivdarstellungen eines Beispiels des laminierten Körpers des beim Ausführungsbeispiel der Erfindung verwendeten, gepackt aufgebauten Kolbens. Gemäß Fig. 2A wird das Laminelement 31 folgendermaßen hergestellt: Rohmaterialien von PbO, SrCO<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub> und Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> werden, wie in der Tabelle 1 aufgeführt ist, vermischt, um die chemische Zusammensetzung entsprechend der Formel,



einzustellen. In der Tabelle 1 stellt Nr. 6 ein piezoelektrisches Material aus 0,5 Pb (Ni/3 Nb<sub>2</sub>/3)O<sub>3</sub> - 0,35PbTi<sub>3</sub> - 0,15PbZrO<sub>3</sub>) dar, das bisher in weitem Umfang für den gepackt aufgebauten Kolben verwendet wurde.

Tabelle 1

Nr.	x	y	z	$\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$	$K_{33}$	$d_{33}$ ( $\times 10^{-12}$ m/v)	$T_c$ (°C)
1	0,9	0,55	1,5	3800	0,81	690	180
2	0,9	0,55	1,0	3300	0,80	670	210
3	0,9	0,55	0,5	3250	0,80	665	235
4	0,88	0,54	1,5	4500	0,77	710	160
5	0,92	0,56	0,5	2980	0,81	645	255
6*)	—	—	—	5500	0,68	635	145

\*) bekannt

Allgemein muß bei dem Strömungsdurchsatz-Regulierungsventil der Verschiebungsbetrag des gepackt aufgebauten Kolbens als Antriebsquelle groß sein, und daher muß das zu verwendende piezoelektrische Material eine große piezoelektrische Verzerrungskonstante  $d_{33}$  haben. Die piezoelektrische Verzerrungskonstante  $d_{33}$  wird aus der folgenden Gleichung

$$d_{33} = K_{33} / \sqrt{\epsilon_0 \cdot \epsilon_{33}^T S_{33}^E}$$

berechnet, worin,

$\epsilon_0$ : die Vakuumdielektrizitätskonstante,

$\epsilon_{33}^T$ : die relative Dielektrizitätskonstante,

$S_{33}^E$  der elastische Federungswiderstand,

$K_{33}$ : der elektromechanische Kopplungskoeffizient.

In der obigen Gleichung kann, da der elastische Federungswiderstand  $S_{33}^E$  der piezoelektrischen Keramiken etwa  $15 \times 10^{-12}$  m<sup>2</sup>/N ist und der elektromechanische Kopplungskoeffizient  $K_{33}$  des herkömmlich verwendeten Materials auf etwa 0,6 bis 0,7 begrenzt ist, die piezoelektrische Verzerrungskonstante  $d_{33}$  durch normale Senkung der Curie-Temperatur  $T_c$  der piezoelektrischen Keramiken und Erhöhung der relativen Dielektrizitätskonstante  $\epsilon_{33}^T$  auf etwa Raumtemperatur gesteigert werden.

Die obigen Rohmaterialien werden in einer Kugelmühle 24 h vermischt und dann bei 800°C 1 h gebrannt. Nach den Pulverisieren des gebrannten Pulvers wird es mit Polyvinylbutyral versetzt und in Trichlen zur Bildung

einer Aufschwemmung dispergiert. Dann wird diese Mischung zur Herstellung der blattartigen dünnen Platten oder Laminelemente von 100 µm Dicke durch ein Abstreifmesser verwendet. Auf die gesamten Oberflächen der Laminelemente 31 werden jeweils die inneren Elektroden 32a und 32b mit der leitenden Platinpaste oder Silber-Palladium-Paste siebgedruckt. Beispielsweise werden etwa 100 Laminelemente 31 mit den inneren Elektroden 32a, 32b abwechselnd laminiert oder übereinander gestapelt und zur Bildung eines laminierten Körpers gepreßt, der zu einer bestimmten Abmessung und Form geschnitten wird. Dieser Laminatkörper wird auf 500°C erhitzt, so daß das darin enthaltene Bindemittel entfernt wird. Dann wird er bei 1050 bis 1200°C in der Sauerstoffatmosphäre 1 bis 5 h gebrannt und in Stücke einer vorbestimmten Abmessung als Laminatkörper 35 aufgetrennt. Dieser Laminatkörper 35 hat z. B. eine Abmessung von  $W \times D \times L = 5 \times 5 \times 10$  mm oder 10 × 10 × 10 mm. Dann werden auf den aneinander angrenzenden Seiten des Laminatkörpers 35 Filme 37a bzw. 37b aus einem Isoliermaterial vorgesehen, um die inneren Elektroden 32a und 32b zu kreuzen. In Fig. 2B bedeuten 38a und 38b Nuten, die in den Filmen 37a, 37b z. B. durch ein Ritzgerät gebildet sind, um den inneren Elektroden 32a, 32b zugewandt zu sein. In Fig. 2C werden die äußeren Elektroden 33a und 33b auf den Filmen 37a und 37b vorgesehen, um die Nuten 38a und 38b zu kreuzen, so daß die äußeren Elektroden 33a und 33b mit den inneren Elektroden 32a bzw. 32b verbunden werden können. Dann werden die äußeren Elektroden 33a und 33b mit den Anschlußdrähten, durch die eine Spannung angelegt wird, mittels Lot verbunden (der Draht und das Lot sind nicht gezeigt). Das Lot besteht aus 25 Gew.-% Sn und 75 Gew.-% Pb und ist bei 260°C in einer flüssigen Phase. In Fig. 2D bezeichnet 39 einen Film aus Polyimidbasisharz, der auf der Oberfläche des Laminatkörpers 35 einschließlich der äußeren Elektroden und des (nicht gezeigten) Lots durch das Fluid eintauchen oder statisches Überziehen vorgesehen wird. Der wie vorstehend gebildete Laminatkörper 35 wurde bei 1,5 kV/mm polarisiert, und die Eigenschaften wurden gemessen, wie in der Tabelle aufgeführt ist. No. 6 ist der aus einem herkömmlich verwendeten Material hergestellte Laminatkörper zum Vergleich mit der Erfindung.

Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß die Curie-Temperatur des herkömmlichen Materials No. 6 145°C ist, während die piezoelektrischen Materialien gemäß der Erfindung, No. 1 bis 5 oder auf  $(\text{Pb}_x\text{xSr}_{1-x}\text{Zr}_y\text{Ti}_{1-y}\text{O}_3 + \text{Z}_{\text{Gew.}\%}\text{Sb}_2\text{O}_3)$  basierendes Material einen äußerst hohen elektromechanischen Kopplungskoeffizient  $k_{33}$  von etwa 0,8 aufweist und somit eine relativ hohe Curie-Temperatur  $T_c$  von 180°C oder darüber hat, so daß der Laminatkörper zur Verwendung bei einer hohen Temperatur von mehr als 150°C geeignet ist.

Fig. 3 zeigt die Beziehung zwischen der Temperatur und der verursachten Verschiebung. In Fig. 3 ist die gleiche No. dieselbe wie die in der Tabelle. Die in Fig. 3 gezeigte (der piezoelektrischen Verzerrungskonstante  $d_{33}$  proportionale) Verschiebung wurde verursacht, wenn eine Spannung von 150 V an den Laminatkörper angelegt wurde. Aus der Fig. 3 wird verständlich, daß beim herkömmlichen Material No. 6 die verursachte Verschiebung mit dem Anstieg der Temperatur sinkt und bei 100°C oder darüber erheblich abfällt. Andererseits wächst bei den Materialien No. 1 bis 5 gemäß der Erfindung die verursachte Verschiebung (oder piezoelektrische Verzerrungskonstante  $d_{33}$ ) mit dem Temperaturanstieg und ist auf einem Maximum von 13 bis 15 µm bei 100°C oder darüber.

Als der Laminatkörper gemäß der Erfindung für den 1000 h-Betrieb bei einer Umgebungstemperatur von 150°C und einer Spannung von 150 V und 10 Hz geprüft wurde, konnte bestätigt werden, daß unter 100 Proben keine Probe war, deren Verschiebung, elektromechanische Materialfunktion und elektrische Verbindung verschlechtert oder fehlerhaft wurden. Als der in den Fig. 10 und 11 gezeigte gepackt aufgebaute Kolben z. B. im Fluidsteuerventil-Betätigungselement oder Autobrennstoffeinspritzventil-Betätigungselement verwendet wurde, das bei einer hohen Umgebungstemperatur eingesetzt wurde, verschlechterte sich die Funktion des elektromechanischen Wandlermaterials der Laminelemente 31. Dies ist auf den plötzlichen Abfall der piezoelektrischen Verzerrungskonstante, wie oben erwähnt, zurückzuführen.

Weiter wurden vier Laminatkörper ( $W \times D \times L = 5 \times 5 \times 10$  mm), deren jeder oben gegeben wurde, gestapelt und mit einem Polyimidbasiskleber verbunden, um einen gepackt aufgebauten Kolben von 40 mm Länge zu bilden. Diese gestapelte Kolbenanordnung wurde in das in Fig. 1 gezeigte Strömungsdurchsatzregulierungsventil eingesetzt, und die Temperaturabhängigkeit des Strömungsdurchsatzes wurde gemessen. Dabei wurde  $\text{N}_2$ -Gas als das Fluid verwendet, und der äußere Durchmesser der Kontaktfläche des Ventilsitzes mit der Membran 17 sowie der innere Durchmesser des Auslasses 16 waren 2,2 mm bzw. 2,0 mm. Mit anderen Worten, es wurde zunächst eine Gleichspannung von 150 V an die Stapeltypkolbenanordnung 21 angelegt, und während  $\text{N}_2$ -Gas strömen gelassen wurde (Druckdifferenz 3 kg/cm<sup>2</sup>), wurde die Öffnungseinstellschraube 23 nach unten geschraubt, und die Membran 17 wurde in Kontakt mit dem Ventilsitz 15 durch die Ventilstange 22 gebracht, so daß der  $\text{N}_2$ -Gasströmungsdurchsatz auf 0 eingestellt wurde. Dann drückte, als die Gleichspannung an der Stapelkolbenanordnung 21 unterbrochen wurde, die Kompressionswendelfeder 27 die Ventilstange 22 mit ihrer Rückstoßkraft nach oben, so daß die Membran 17 aufwärts vom Ventilsitz 15 zur Öffnung des Ventilauslasses 16 getrennt wurde. Zu dieser Zeit erreichte der  $\text{N}_2$ -Gasströmungsdurchsatz den Maximalwert.

Fig. 4 zeigt die Beziehung zwischen der Temperatur und dem maximalen Strömungsdurchsatz. In Fig. 4 bedeuten gleiche Probennummern, die denen in Fig. 3 entsprechen, die gleichen Proben. Aus Fig. 4 wird ersichtlich, daß bei jeder Probennummer der maximale Strömungsdurchsatz mit dem Temperaturanstieg gesteigert wird und seinen Maximalwert bei einer hohen Temperatur von 130 bis 180°C erreicht. Mit anderen Worten wächst der Hub der in Fig. 1 gezeigten Membran 17 bei einer hohen Temperatur im Temperaturbereich. Dies wird durch die Tatsache hervorgerufen, daß die Verschiebung des Stapeltypkolbens 21 groß ist und den Maximalwert bei einer hohen Temperatur im Temperaturbereich oder durch die Temperaturabhängigkeit der Verschiebung, wie sie in Fig. 3 gezeigt ist, erreicht. Diese Charakteristik kann mit dem bekannten piezoelektrischen Material nicht erreicht werden und ist für das Strömungsdurchsatzregulierungsventil für organometallisches Gas wirkungsvoll. Mit anderen Worten ist es, da das organometallische Gas einen hohen Siedepunkt (z. B. Dimethylzink 44°C, Tetramethylzinn 78°C, Triethylgallium 142,6°C) hat, erforderlich, das Zuführrohrsystem zu erhitzen und es auf einer Temperatur zu halten. Als Notwendigkeit wird auch das Strömungsdurchsatzregulier-

ventil bei einer hohen Temperatur verwendet.

Fig. 5 zeigt die Beziehung zwischen der Temperatur und dem Dampfdruck organometallischer Gase. Die jeweiligen organometallischen Gase strömen im Rohr durch den Dampfdruck, und der Dampfdruck der organometallischen Gase wächst mit dem Temperaturanstieg, wie in Fig. 5 gezeigt ist.

Der Gasströmungsdurchsatz wächst auch mit dem Anstieg des Dampfdrucks. Bei der bekannten Einrichtung, deren Verschiebung mit dem Temperaturanstieg zum Abfallen neigt, sinkt der Hub der Membran 17 in Fig. 1 beispielsweise, und daher kann kein ausreichender Strömungsdurchsatz erreicht werden, so daß, wenn ein Film nach dem chemischen Dampfabscheideverfahren unter verringertem Druck abgeschieden wird, eine ausreichende Gasmenge nicht gefördert werden kann. Als Ergebnis erfordert es eine lange Zeit zur Erzeugung eines Films, was die Massenproduktion schwierig macht und die Möglichkeit verursacht, daß eine Verunreinigung in den Film eingemischt wird.

Fig. 6 zeigt die Anordnung eines Hauptteils eines anderen Ausführungsbeispiels der Erfindung oder ein Beispiel des Mengenströmungsreglers für organometallisches Gas. In Fig. 6 ist ein Strömungsdurchsatzregelventil 40 gezeigt, das wie z. B. in Fig. 1 gezeigt aufgebaut ist und in welchem der Stapeltypkolben 21 zum Antrieb aus dem Material No. 3 in der obigen Tabelle hergestellt ist. Man erkennt einen Einlaßkanal 41 und einen Auslaßkanal 42, worin ein Fluid in der Pfeilrichtung strömt. Man erkennt weiter einen Strömungsdurchsatzsensor 43, der mit dem Einlaßkanal 41 z. B. in U-Form verbunden ist. Der Fluiddurchsatz im Einlaßkanal 41 ist beispielsweise 10% der gesamten Strömung. Weiter dargestellt ist ein Meßelement 44, das auf den Strömungssensor 43 aufgewickelt und mit einem Brückenkreis 45 elektrisch verbunden ist. Mit 46, 47, 48 und 49 sind ein Verstärkungskreis bzw. ein Phasenkompensationskreis bzw. ein Vergleichskreis bzw. ein Antriebskreis bezeichnet, die in Reihe mit dem Brückenkreis 45 geschaltet und so ausgebildet sind, daß sie sich zur Übertragung des Ausgangssignals vom Brückenkreis 45 in der Reihenrichtung eignen. Schließlich erkennt man einen Einstellsignalausgangsteil 50, der mit dem Vergleichskreis 48 verbunden ist. Die Ausgangsspannung vom Antriebskreis 49 wird einem Stapeltypkolben 40a zugeführt, der zum Strömungsdurchsatzsteuerventil 40 gehört.

Bei dieser Anordnung wird, wenn ein Signal von z. B. 0 bis 5 V vom Einstellsignalausgangsteil 50 dem Vergleichskreis 48 zugeführt wird, eine diesem Signal zugehörige Gleichspannung durch den Antriebskreis 49 dem Stapeltypkolben 40a zugeführt, wodurch der Ventilauslaß 16, wie in Fig. 1 gezeigt, geöffnet wird, um ein Strömen des Fluids zu ermöglichen, wie durch die Pfeile in Fig. 6 angedeutet ist. Der Strömungsdurchsatz des Fluids kann durch Erfassung des Ausgangssignals gemessen werden, das vom Brückenkreis 45, der mit dem Meßelement 44 verbunden ist, das auf den Strömungsdurchsatzsensor 43 gewickelt ist, dem Ausgangsteil 50a über den Verstärkungskreis 46 und den Phasenkompensationskreis 47 zugeführt wird. Dieses Signal wird auch dem Vergleichskreis 48 zugeführt, wo es mit dem Einstellsignal verglichen wird, und das verglichene Signal wird durch den Antriebskreis 49 dem Strömungsdurchsatzreguliertventil zugeführt, wodurch die Öffnung des Ventils gesteuert wird.

Fig. 7 zeigt die Abhängigkeit zwischen der Einstellspannung und dem regulierten Strömungsdurchsatz. Diese Beziehung ist das Ergebnis der Regulierung des Strömungsdurchsatzes von Triethylgalliumgas (TEG) durch die Massenströmungsreguliereinrichtung, die in Fig. 6 gezeigt ist. In diesen Fall wurde die Massenströmungsreguliereinrichtung auf 160°C erhitzt, und die Gasdruckdifferenz war der Dampfdruck von TEG. Aus Fig. 7 wird ersichtlich, daß die Einstellspannung dem regulierten Strömungsdurchsatz direkt proportional ist. Gleichzeitig kann, da der Hub der (in Fig. 1 mit 17 bezeichneten) Membran des Strömungsdurchsatzreguliertventils, das zur Massenströmungsreguliereinrichtung gehört, gesteigert werden kann, verhindert werden, daß das Ventil verstopft und verstaubt wird, und außerdem kann der Strömungsdurchsatz bei einer niedrigen Druckdifferenz ausreichend gesteigert werden.

Fig. 8 zeigt schematisch die Anordnung eines Hauptteils einer chemischen Dampfabscheidung unter verringertem Druck bei einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung. In Fig. 8 sind eine Heizkammer 51, in der TEOS (Tetraethoxysilan) angebracht ist, und eine Heizeinrichtung 52 dargestellt, die die Heizkammer 51 umgibt. Man erkennt weiter einen Reaktionsofen 53, dessen Primärseite 53a durch eine Massenströmungsreguliereinrichtung 54 nach Fig. 6 mit der Heizkammer 51 verbunden ist und dessen Sekundärseite 53b mit einer (nicht dargestellten) Rotationspumpe verbunden ist.

Das gesamte Rohrsystem (einschließlich der Massenströmungsreguliereinrichtung 54) von der Heizkammer 51 zum Reaktionsofen 53 wird auf 150°C erhitzt.

Ein Glassubstrat wurde im Reaktionsofen 53 angeordnet und auf 300°C erhitzt, und die Sekundärseite 53b des Reaktionsofens 53 wurde auf einen Unterdruck von  $10^{-3}$  Torr gebracht, so daß ein  $\text{SiO}_2$ -Film auf dem Glassubstrat gebildet wurde. Für den Zweck eines Vergleichs wurde der gleiche Film wie oben durch die herkömmliche Massenströmungsreguliereinrichtung gebildet, und die Ergebnisse sind in der Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2

Auswertungsparameter	Massenströmungsregler	
	Erfindung	Stand der Technik
Arbeitstemperatur (°C)	150	80
Dampfdruck (mmHg)	450	40
Maximalströmungsdurchsatz ( $\text{cm}^3/\text{min}$ )	2500	300
Filmabscheidungs geschwindigkeit ( $\mu\text{m}/\text{Zeit}$ )	7 ~ 8	2 ~ 3

Aus der Tabelle 2 ist ersichtlich, daß, wenn der in Fig. 8 gezeigte Massenströmungsregler 54 ein bekannter ist,

die Arbeitstemperatur der piezoelektrischen Einrichtung als Antriebsquelle auf 80°C wegen seiner Eigenschaften begrenzt ist und daß der Dampfdruck und der Maximalströmungsdurchsatz 40 mmHg bzw. 300 cm<sup>3</sup>/min sind. Andererseits ist, wenn der Massenströmungsregler gemäß der Erfindung verwendet wird, die Arbeitstemperatur 150°C, und der Hub des Ventils erreicht bei etwa dieser Temperatur sein Maximum. So ist der Maximalströmungsdurchsatz so hoch wie 2500 cm<sup>3</sup>/min bei einem Dampfdruck von 450 mmHg. Als Ergebnis ist die Filmabscheidungsgeschwindigkeit beim Stand der Technik 2 bis 3 µm/Zeit, während sie nach der Erfindung so hoch wie 7 bis 8 µm/Zeit ist.

Während bei diesen Ausführungsbeispiel das gesamte Strömungsdurchsatzregulierungsventil erhitzt wird, kann auch nur der Stapeltypkolben durch eine Heizspule oder ein Oberflächenheizgerät erhitzt werden. Das Heizgerät kann die Wärme ausnutzen, die das Fluid selbst besitzt. Das Strömungsdurchsatzregulierungsventil ist nicht vom Normal-Offen-Typ, sondern kann vom Normal-Geschlossen-Typ sein. Das zu regulierende Fluid ist nicht auf Gas beschränkt, sondern kann eine Flüssigkeit sein. Weiter ist das Fluid nicht auf ein Hochtemperaturfluid beschränkt, sondern kann auch ein Niedrigtemperatur- oder ein Normaltemperaturfluid sein. Zusätzlich ist der Stapeltypkolben nicht auf die in den Fig. 2 und 11 gezeigte Anordnung des Gesamtoberflächenelektrodentyps beschränkt, sondern kann auch die sog. Abwechslungselektrodenanordnung oder eine Anordnung anderer Art sein, bei der die Laminelemente die inneren Elektroden auf beiden Seiten tragen und gestapelt oder verbunden sind. Die Form der Laminelemente und der inneren Elektroden, wenn von oben betrachtet, ist nicht auf eine Rechteckform beschränkt, sondern kann ein Quadrat, eine Kreisform, eine elliptische Form oder eine andere geometrische Form sein. Auch können, um einen größeren Hub zu erreichen, eine Mehrzahl solcher Anordnungen mit einem hitzebeständigen Kleber verbunden werden. Weiter kann man statt des erwähnten Anschlußdrahtes Anschlußglieder an den oberen und unteren Enden des Laminatkörpers befestigen. Während im obigen Ausführungsbeispiel die inneren Elektroden und die äußeren Elektroden durch Siebdruck gebildet werden, können sie auch durch andere Verfahren, wie z. B. galvanische Abscheidung, Aufdampfung oder Überziehen gebildet werden. Zusätzlich können, während im obigen Ausführungsbeispiel das elektromechanische Wandlmaterial die größte Verschiebung oder den Maximalwert der piezoelektrischen Verzerrungskonstante  $d_{33}$  bei etwa 150°C bewirkt, andere Materialien mit unterschiedlichen Bestandteilen selektiv verwendet werden, die den Maximalhub bei anderen Temperaturen von bis zu 250°C unter Berücksichtigung der Arbeitstemperatur des Stapeltypkolbens bewirken.

Während bei diesem Ausführungsbeispiel Polyimidharz als ein hitzebeständiges Harz verwendet wird, können natürlich auch andere Harze mit einer Hitzebeständigkeit von 200°C oder darüber, wie z. B. Epoxyphe nol, Epoxynovolak, Silikone-denaturierte Silikone, Polybenzimidazol oder Fluoresin verwendet werden.

#### Patentansprüche

##### 1. Strömungsdurchsatzregulierungsventil, das aufweist:

- a) eine Ventilkammer (12) mit einem offenen Ende;
- b) einen Einlaßkanal (13) und einen Auslaßkanal (14) deren jeder ein Ende in Verbindung mit der Ventilkammer und das andere Ende offen aufweist;
- c) einen Ventilsitz (15), der am Ende des Einlaßkanals oder des Auslaßkanals in Verbindung mit der Ventilkammer vorgesehen ist;
- d) eine blattartige Membran (17), die zum dichten Verschließen des offenen Endes der Ventilkammer vorgesehen ist; und
- e) einen Stapeltypkolben (21), der aus einem elektromechanischen Wandlmaterial mit dem Maximalwert der piezoelektrischen Verzerrungskonstante bei einem höheren Temperaturbereich als Normaltemperatur hergestellt ist und der einen Druck auf die Membran durch seine Verformung ausübt, wodurch die Membran zur Steuerung des Spalts zwischen dem Ventilsitz und der Membran verschoben wird.

2. Strömungsdurchsatzregulierungsventil nach Anspruch 1, wobei der Stapeltypkolben die piezoelektrische Verzerrungskonstante aufweist, die das Maximum bei 100°C oder darüber erreicht.

3. Strömungsdurchsatzregulierungsventil nach Anspruch 2, wobei das elektromechanische Wandlmaterial des Stapeltypkolbens 61 – 66 Gew.-% PbO, 2 – 5 Gew.-% SrCO<sub>3</sub>, 10,5 – 12 Gew.-% TiO<sub>2</sub>, 20 – 22 Gew.-% ZrO<sub>2</sub> und 0,1 – 2,0 Gew.-% Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> enthält.

4. Strömungsdurchsatzregulierungsventil nach Anspruch 1, wobei der Stapeltypkolben an seiner Oberfläche durch einen Film (39) bedeckt ist, der aus einem wärmebeständigen isolierenden Harzmaterial besteht.

5. Strömungsdurchsatzregulierungsventil nach Anspruch 1, wobei der Stapeltypkolben äußere Elektroden (33a, 33b) aufweist, die mit Anschlußdrähten (36) mittels Lot bei einer Flüssigphasentemperatur von 200°C oder darüber verbunden sind.

6. Strömungsdurchsatzregulierungsventil nach Anspruch 1, das zusätzlich eine Heizeinrichtung zum Erhitzen des Stapeltypkolbens auf den Temperaturbereich aufweist, in den die piezoelektrische Verzerrungskonstante das Maximum erreicht.

##### 7. Massenströmungsreguliereinrichtung, die aufweist:

- a) ein Strömungsdurchsatzregulierungsventil (40) mit:
  - einer Ventilkammer (12) mit einem offenen Ende;
  - einem Einlaßkanal (41) und einem Auslaßkanal (42), deren jeder ein Ende in Verbindung mit der Ventilkammer und das andere Ende offen aufweist;
  - einem am Ende des Einlaßkanals oder des Auslaßkanals in Verbindung mit der Ventilkammer vorgesehenen Ventilsitz (15);
  - einer blattartigen Membran (17), die zum dichten Verschließen des offenen Endes der Ventilkammer

- vorgesehen ist; und  
 einem Stapeltypkolben (40a) aus einem elektromechanischen Wandlermaterial mit den Maximalwert der piezoelektrischen Verzerrungskonstante bei einem höheren Temperaturbereich als Normaltemperatur, der einen Druck auf die Membran durch seine Verformung ausübt, wodurch die Membran zur Steuerung des Spalts zwischen der Ventilkammer und der Membran verschoben wird; 5  
 b) Strömungsdurchsatzserfassungsmittel (43, 44), die im Einlaßkanal oder im Auslaßkanal vorgesehen sind;  
 c) einer Einrichtung (48) zum Vergleichen des Ausgangs der Strömungsdurchsatzserfassungseinrichtung mit einem eingestellten Steuerwert; und  
 d) Steuerungsmitteln (49) zum Steuern des Strömungsreguliertventils auf der Basis des verglichenen Ergebnisses. 10
8. Massenströmungsregler nach Anspruch 7, wobei der Stapeltypkolben die piezoelektrische Verzerrungskonstante aufweist, die den Maximalwert bei 100°C oder darüber erreicht.
9. Massenströmungsregler nach Anspruch 8, wobei das elektromechanische Wandlermaterial des Stapeltypkolbens 61–66 Gew.-% PbO, 2–5 Gew.-% SrCO<sub>3</sub>, 10,5–12 Gew.-% TiO<sub>2</sub>, 20–22 Gew.-% ZrO<sub>2</sub> und 0,1–2,0 Gew.-% Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> enthält. 15
10. Stapeltypkolben, der aufweist:  
 a) einen Laminatkörper (35) mit einer Mehrzahl von Laminelementen (31) aus einem elektromechanischen Wandlermaterial mit dem Maximalwert der piezoelektrischen Verzerrungskonstante bei einem höheren Temperaturbereich als 100°C oder darüber und einer Mehrzahl von inneren Elektroden (32a, 32b) aus leitendem Material, wobei die Laminelemente und die inneren Elektroden abwechselnd gestapelt sind; und 20  
 b) ein Paar von äußeren Elektroden (33a, 33b), die an den Seiten des Laminatkörpers so gebildet sind, daß sie mit jeweils zugehörigen anderen der inneren Elektroden verbunden sind.
11. Stapeltypkolben nach Anspruch 10, wobei das elektromechanische Wandlermaterial 61–66 Gew.-% PbO, 2–5 Gew.-% SrCO<sub>3</sub>, 10,5–12 Gew.-% TiO<sub>2</sub>, 20–22 Gew.-% ZrO<sub>2</sub> und 0,1–2,0 Gew.-% Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> enthält. 25
12. Stapeltypkolben nach Anspruch 10, wobei seine Oberfläche mit einem Film (39) bedeckt ist, der aus einem wärmebeständigen isolierenden Harzmaterial besteht.
13. Stapeltypkolben nach Anspruch 10, wobei die äußeren Elektroden Anschlußdrähte (36) aufweisen, die damit mittels Lot bei einer Flüssigphasentemperatur von 200°C oder darüber verbunden sind. 30

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

35

40

45

50

55

60

65

**FIG. 1**

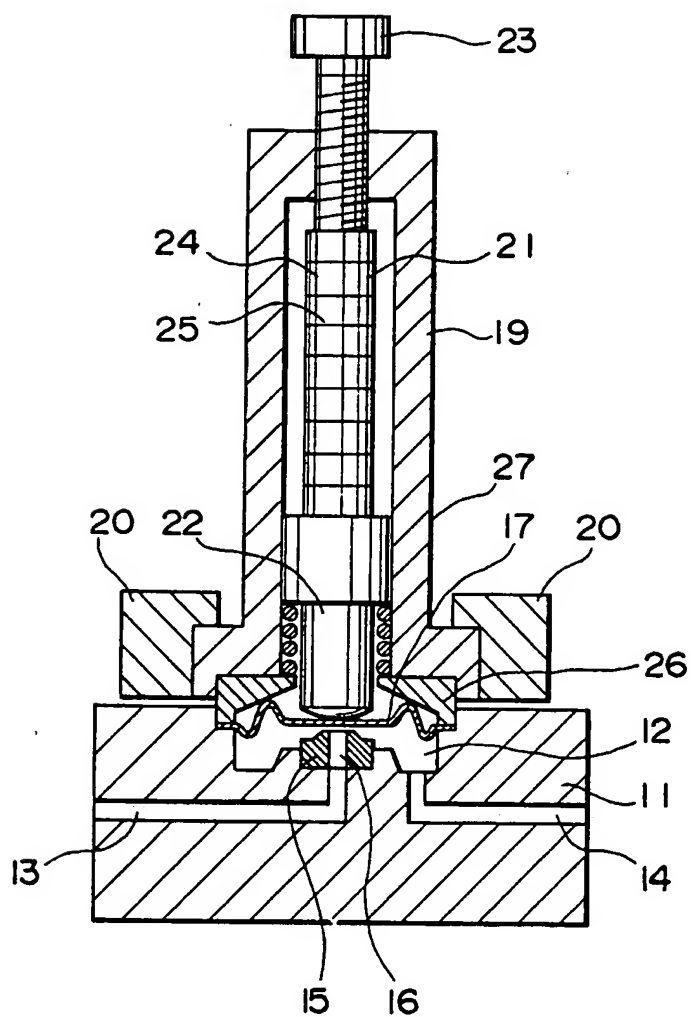
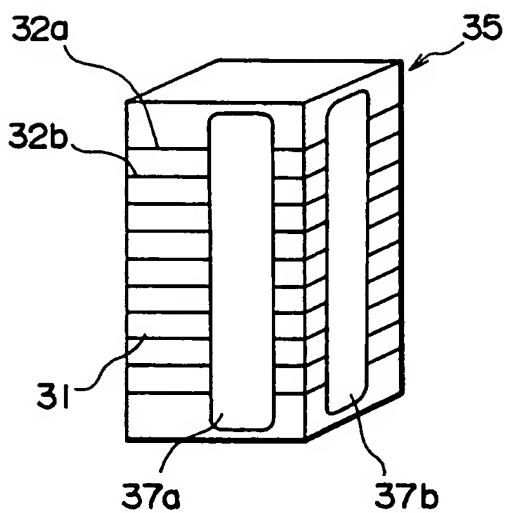
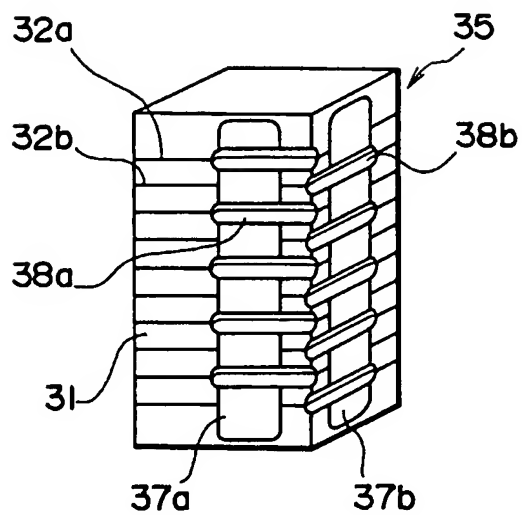


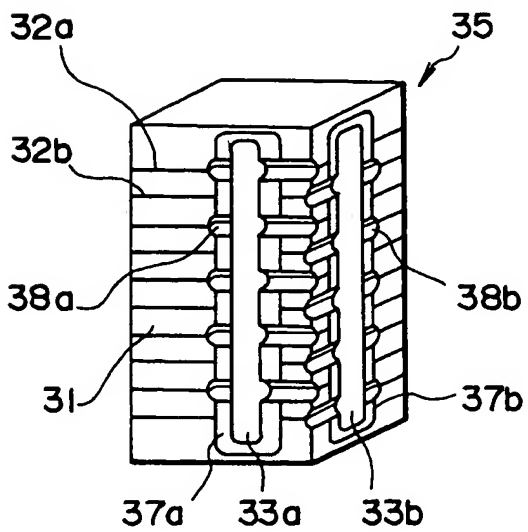
FIG. 2A



**FIG. 2B**



**FIG. 2C**



**FIG. 2D**

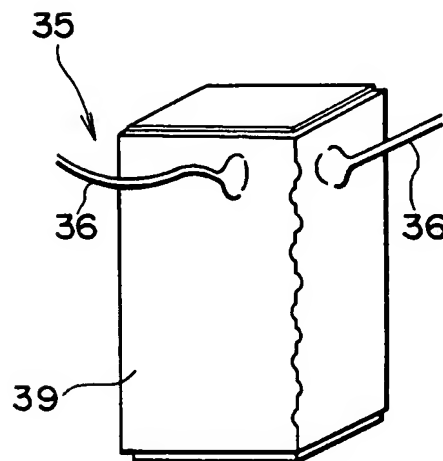


FIG.3

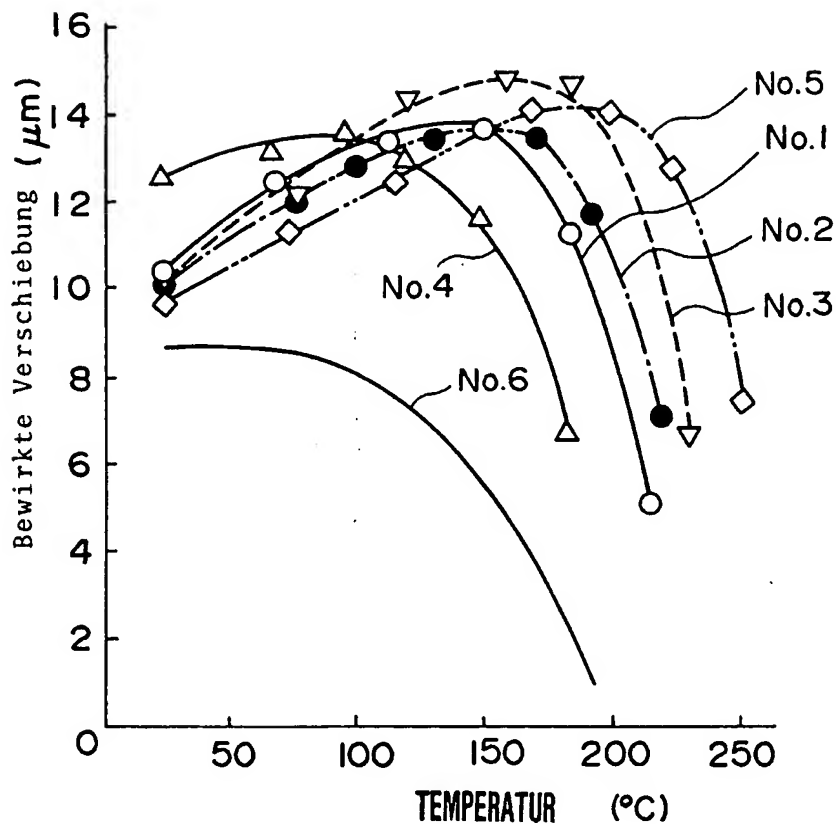


FIG.4

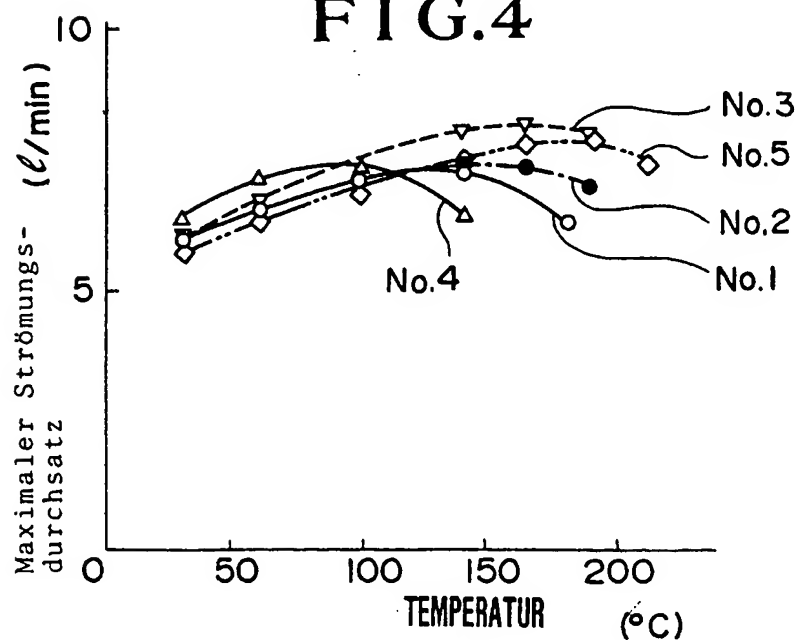


FIG.5

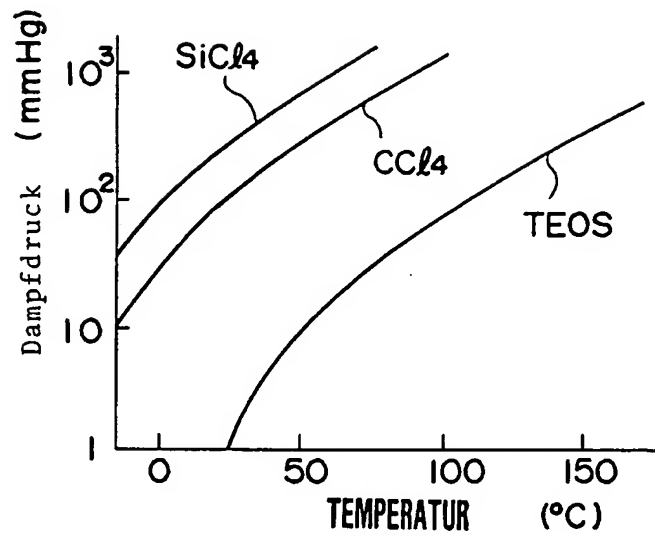


FIG.6

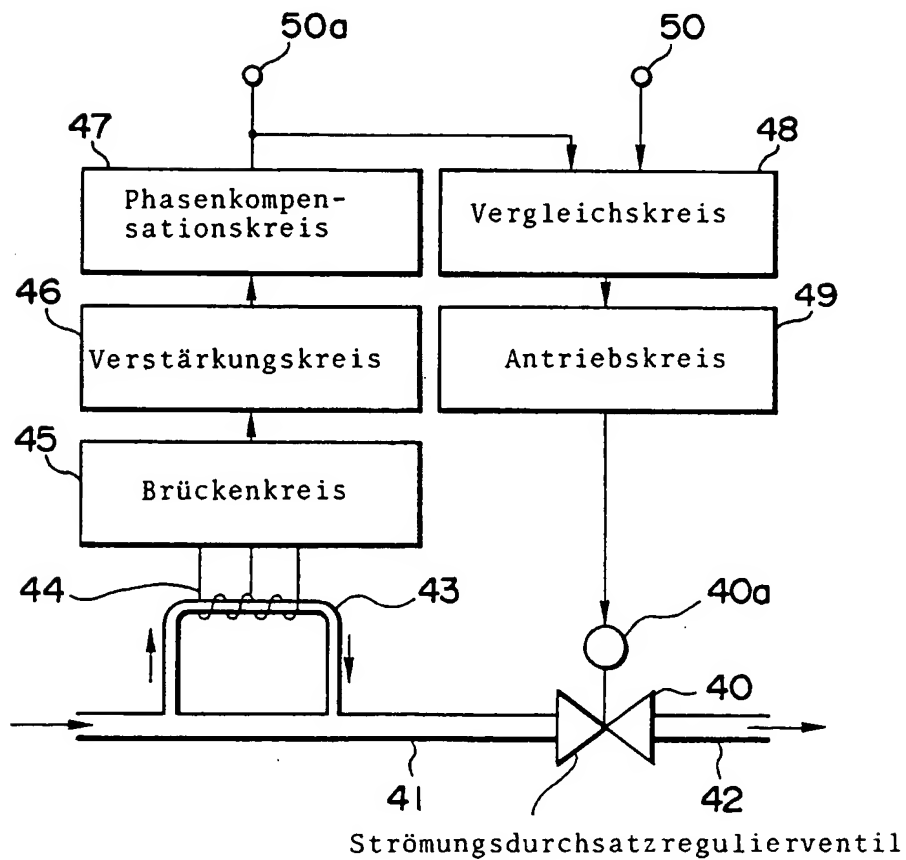


FIG.7

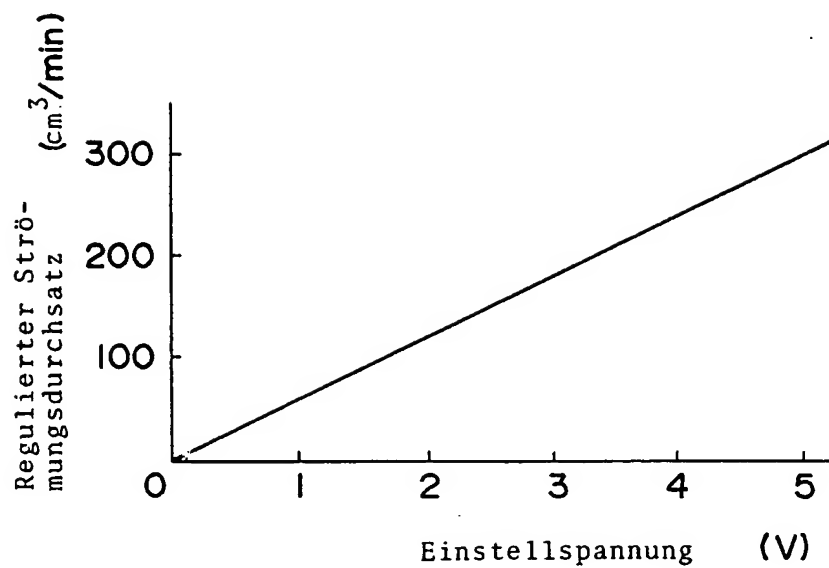
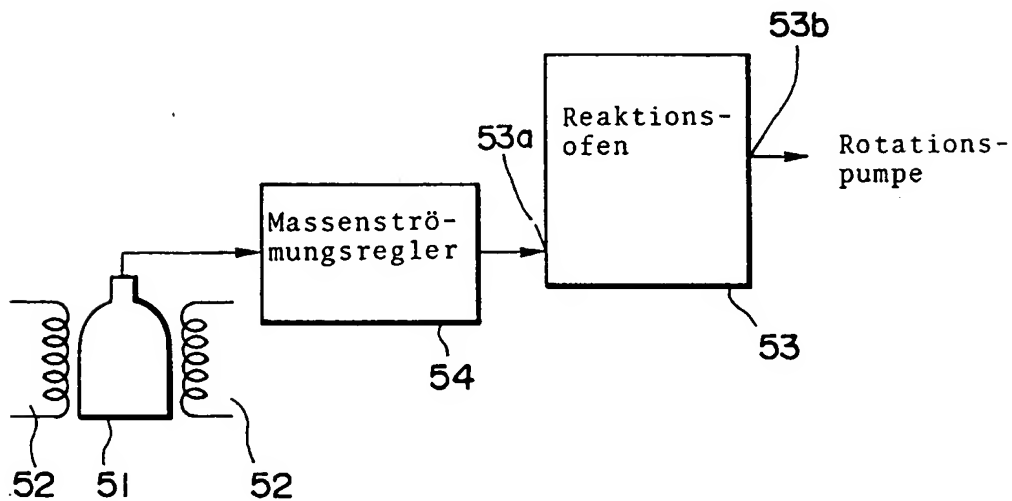
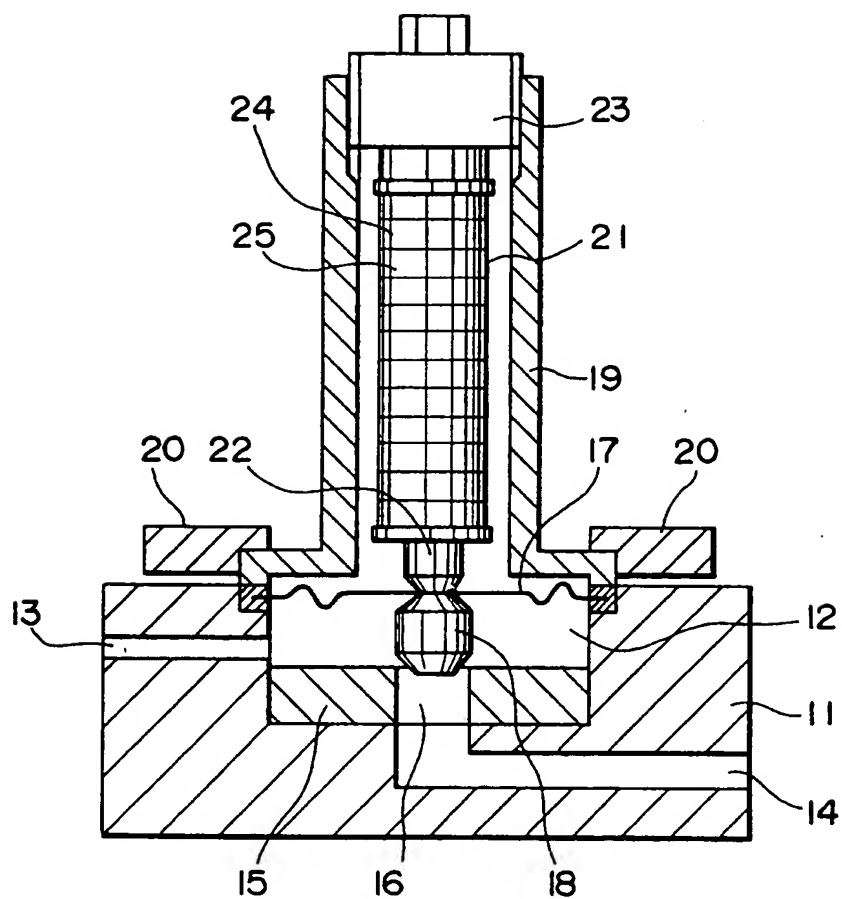


FIG.8



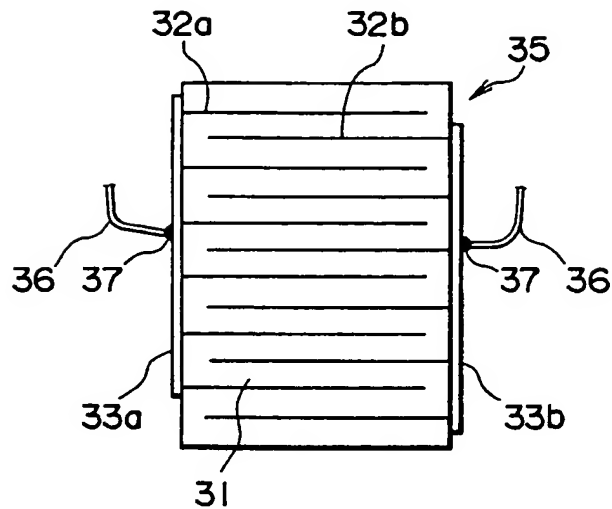
# FIG.9

(Stand der Technik)



# FIG.10

Stand der Technik



# FIG.11

Stand der Technik

